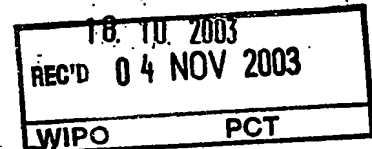


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 46 910.5 —

Anmeldetag: 8. Oktober 2002 —

Anmelder/Inhaber: MTU Aero Engines GmbH, München/DE

Bezeichnung: Mehrgrößenregelungssystem und Verfahren zum
Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke

IPC: G 05 B, B 64 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Scholz

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Mehrgrößenregelungssystem und Verfahren zum Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke

Die Erfindung betrifft ein Mehrgrößenregelungssystem gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 8 und ein Verfahren zum Regeln eines Propellertriebwerks gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 14.

Ausgangspunkt für die Regelungstechnik oder eine Regelungsaufgabe ist eine Anlage bzw. Einrichtung, für welche eine zeitveränderliche Größe in bestimmter Weise beeinflusst werden soll. Die zuregelnde Größe bezeichnet man als Regelgröße, die gegebene Anlage bzw. Einrichtung als Regelstrecke. Die Regelgröße ist eine Ausgangsgröße der Regelstrecke und einen gemessenen Wert der Regelgröße bezeichnet man als Istwert derselben. Die Regelgröße soll so beeinflusst werden, dass die Regelgröße einer gewünschten Größe entspricht, die als Sollwert bezeichnet wird. Der tatsächliche Istwert der Regelgröße wird mit dem gewünschten Sollwert verglichen, wobei die entsprechende Abweichung – eine sogenannte Regeldifferenz – einem Regler zugeführt wird. Auf Basis der Regeldifferenz erzeugt der Regler eine Stellgröße zur Beeinflussung der Regelstrecke, wobei die Stellgröße eine Eingangsgröße der Regelstrecke ist.

Es sind häufig Regelstrecken zu regeln, in denen mehrere zeitveränderliche Größen – also mehrere Regelgrößen – beeinflusst und damit geregelt werden sollen. Solche Regelstrecken bezeichnet man als Mehrgrößenregelstrecke oder auch Mehrfachregelstrecke. Beispiele für solche Mehrgrößenregelungsaufgaben sind:

- Propellertriebwerke wie zum Beispiel Turboprop-Triebwerke für Luftfahrzeuge, bei welchen Drehzahl und Leistung eines Propellers geregelt werden sollen,
- Destillationskolonnen, bei welchen Flüssigkeitsstand und Temperaturen in Sumpf und Kopf der Kolonne geregelt werden sollen, oder
- Klimaregelungen, bei welchen Temperatur und Feuchtigkeit eines Raums zu regeln sind.

Die vorliegende Erfindung betrifft solche Mehrgrößenregelungssysteme bzw. Mehrgrößenregelstrecken. Wenn nachfolgend die Erfindung am Beispiel einer Regelung eines Propellertriebwerks eines Flugzeugs exemplarisch beschrieben wird, so soll die Erfindung jedoch nicht auf diesen speziellen Anwendungsfall beschränkt sein, selbst wenn
5 die Erfindung für diesen Anwendungsfall besonders vorteilhaft verwendet werden kann.

Bei solchen Mehrgrößenregelungssystemen bestehen in der Regel zwischen den mehreren Regelgrößen und den mehreren Stellgrößen Kopplungen der Art, dass eine Stellgröße nicht nur auf eine sondern auf mehrere Regelgrößen wirkt. Weiterhin treten in der Regel
10 Nichtlinearitäten zwischen den mehreren Stellgrößen und den mehreren Regelgrößen auf. Die Kopplungen und die Nichtlinearitäten zwischen den Stellgrößen und den Regelgrößen stellen erhebliche Schwierigkeiten für den Entwurf eines geeigneten Reglers dar, insbesondere dann, wenn über den gesamten Betriebsbereich der Regelstrecke hinweg ein optimales Regelungsergebnis gefordert ist, und nicht lediglich im Bereich eines
15 bevorzugten Betriebspunkts der Regelstrecke.

Mit den aus dem Stand der Technik bekannten Mehrgrößenregelungssystemen bzw. Verfahren zum Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke ist es bislang nicht oder nur unzureichend möglich, Mehrgrößenregelstrecken mit Kopplungen und Nichtlinearitäten
20 zwischen den Stellgrößen und den Regelgrößen zufriedenstellend zu regeln.

Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zu Grunde, ein verbessertes Mehrgrößenregelungssystem und ein verbessertes Verfahren zum Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke, insbesondere zum Regeln eines Propellertriebwerks, zu schaffen.
25

Dieses Problem wird durch ein Mehrgrößenregelungssystem gemäß Patentanspruch 1 und ein Verfahren zum Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke gemäß Patentanspruch 8 gelöst. Das Verfahren zum Regeln eines Propellertriebwerks umfasst die Merkmale des Patentanspruchs 14.
30

Erfindungsgemäß sind die von den Reglern bereitgestellten Ausgangsgrößen einer Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung als Eingangsgrößen zuführbar. Die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung ermittelt aus den Ausgangsgrößen der Regler die Stellgrößen für

die Mehrgrößenregelstrecke. Hierdurch lässt sich eine gute Entkopplung der Stellgrößen und der Regelgrößen der Mehrgrößenregelstrecke erzielen.

Nach einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung überlagert die Stellgrößen-

- 5 Umrechnungseinrichtung zur Ermittlung der Stellgrößen den Ausgangsgrößen der Regler zusätzlich eine von Istwerten der Regelgrößen abhängige Vorsteuerungskomponente. Dadurch lässt sich die Entkopplung der Stellgrößen und der Regelgrößen der Mehrgrößenregelstrecke nochmals verbessern.

- 10 Vorzugsweise sind eine erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung und eine zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung vorhanden. Die Ausgangsgrößen der Mehrgrößenregelstrecke – also die Regelgrößen – sind der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung als Eingangsgrößen zuführbar, wobei die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung aus den Regelgrößen Ausgangsgrößen ermittelt, die den
- 15 Vergleichseinrichtungen als erste Eingangsgrößen zuführbar sind. Des weitern sind Sollwerte der Regelgrößen der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung als Eingangsgrößen zuführbar, wobei die zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung aus den Sollwerten Ausgangsgrößen ermittelt, die den Vergleichseinrichtungen als zweite Eingangsgrößen zuführbar sind. Das Regelungsergebnis wird durch die
- 20 Regelgrößenumrechnung optimiert und die Struktur der Regelung erheblich vereinfacht.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

- 25 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1: einen Regelkreis für ein Propellertriebwerk zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Mehrgrößenregelungssystems und des

30 erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Mehrgrößenregelungssystem 10. Das in Fig. 1 gezeigte Mehrgrößenregelungssystem 10 verdeutlicht die Erfindung für ein Ausführungsbeispiel, bei

welchem eine zu regelnde Mehrgrößenregelstrecke 11 als Propellertriebwerk eines Flugzeugs ausgebildet ist. Obwohl die hier vorliegende Erfindung für diesen Anwendungsfall besonders geeignet ist, kann das erfindungsgemäße Regelungskonzept auch bei anderen Mehrgrößenregelstrecken zum Einsatz kommen.

5

Wie Fig. 1 zeigt, sollen bei der als Propellertriebwerk ausgebildeten Mehrgrößenregelstrecke 11 eine Propellerdrehzahl n_P und eine Propellerleistung P_{PR} als Regelgrößen 12, 13 geregelt werden. Die beiden Regelgrößen 12, 13 stellen die Ausgangsgrößen der Mehrgrößenregelstrecke 11 dar.

10

Als Eingangsgrößen werden der als Propellertriebwerk ausgebildeten Mehrgrößenregelstrecke 11 zwei Stellgrößen 14, 15 als Eingangsgrößen zugeführt. Bei der ersten Stellgröße 14 handelt es sich bei dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel um einen Propellerblatteinstellwinkel β . Bei der zweiten Stellgröße 15 handelt es sich um einen Brennstoffstrom w_F .

15

Bei dem Propellertriebwerk handelt es sich demnach um eine Mehrgrößenregelstrecke 11 mit zwei Eingangsgrößen und zwei Ausgangsgrößen. Zwischen den Eingangsgrößen, nämlich den Stellgrößen 14, 15, und den Ausgangsgrößen, also den Regelgrößen 12 und

20

13, der als Propellertriebwerk ausgebildeten Mehrgrößenregelstrecke 11 bestehen starke Kopplungen und Nichtlinearitäten. Mithilfe des erfindungsgemäßen

Mehrgrößenregelungssystems 10 bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Regeln der Mehrgrößenregelstrecke 11 wird eine Lösung vorgeschlagen, mit der die Kopplungen und Nichtlinearitäten zwischen den Stellgrößen 14, 15 und Regelgrößen 12, 13 weitestgehend

25

eliminiert werden können und somit auch über einen breiten Betriebsbereich der zuregelnden Mehrgrößenregelstrecke 11 ein optimiertes Regelungsergebnis unter Verwendung einfacher Reglerstrukturen erzielt werden kann.

30

Wie bereits erwähnt, soll als erste Regelgröße 12 die Drehzahl des Propellers n_P und als zweite Regelgröße 13 die Leistung des Propellers P_{PR} geregelt werden. Gemessene Werte dieser Regelgrößen 12, 13 bezeichnet man als Istwerte. Es liegt nun im Sinne der Regelungsaufgabe, dass die Istwerte der Regelgrößen 12, 13 mit entsprechenden Sollwerten 16, 17 für die Drehzahl des Propellers und die Leistung des Propellers in

Übereinstimmung gebracht werden. So zeigt Fig. 1 als ersten Sollwert 16 einen Sollwert für die Propellerdrehzahl $n_{P_{soll}}$ sowie als zweiten Sollwert 17 einen Sollwert für die Leistung des Propellers $P_{PR_{soll}}$.

- 5 Erfindungsgemäß werden die Istwerte der Regelgrößen 12, 13 mit den Sollwerten 16, 17 derselben nicht unmittelbar verglichen. Vielmehr ist sowohl für die Istwerte der Regelgrößen 12, 13 als auch für die korrespondierenden Sollwerte 16, 17 jeweils eine Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18, 19 vorhanden.
- 10 Eine erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 ist den gemessenen Istwerten der Regelgrößen 12, 13 zugeordnet. Eine zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 ist hingegen den korrespondierenden Sollwerten 16, 17 zugeordnet. Die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 ermittelt aus den Istwerten der Regelgrößen 12, 13 Ausgangsgrößen 20, 21. Entsprechend ermittelt die zweite Regelgrößen-
- 15 Umrechnungseinrichtung 18 aus den Sollwerten 16, 17 die Ausgangsgrößen 22, 23. Die Ausgangsgrößen 20, 21 der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 und die Ausgangsgrößen 22, 23 der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 werden Vergleichseinrichtungen 24, 25 als Eingangsgrößen zugeführt. In den
- 20 Vergleichseinrichtungen 24, 25 werden die entsprechenden Ausgangsgrößen 20, 21, 22, 23 der Regelgrößen-Umrechnungseinrichtungen 18, 19 miteinander verrechnet. Hierauf wird weiter unten noch in größerem Detail eingegangen.
- 25 Vorab soll an dieser Stelle auf die in den Regelgrößen-Umrechnungseinrichtungen 18, 19 durchgeführten Umrechnungen der Istwerte der Regelgrößen 12, 13 sowie deren Sollwerte 16, 17 eingegangen werden. So stellt die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19, der als Eingangsgrößen die Regelgrößen 12, 13 - also Istwerte der Propellerdrehzahl n_P sowie der Propellerleistung P_{PR} zugeführt werden - zwei Ausgangsgrößen 20, 21 bereit, die aus den Eingangsgrößen der Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 und aus Kennwerten der Mehrgrößenregelstrecke 11 berechnet werden. So gibt im gezeigten
- 30 Ausführungsbeispiel die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 als erste Ausgangsgröße 20 die Regelgröße 12, also die Propellerdrehzahl n_P , als erste Ausgangsgröße aus. Als zweite Ausgangsgröße 21 hingegen wird von der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 eine aus den Istwerten der Regelgrößen 12, 13

ermittelte Größe ausgegeben, nämlich im gezeigten Ausführungsbeispiel ein ermittelter Wert einer Turbinenleistung P_{LPT} . Der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 werden demnach als Eingangsgrößen die Propellerdrehzahl n_P und die Propellerleistung P_{PR} zugeführt. Als Ausgangsgrößen 20, 21 gibt die Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 die Propellerdrehzahl n_P und die Turbinenleistung P_{LPT} aus. Zur Ermittlung der Turbinenleistung P_{LPT} aus den Regelgrößen 12, 13 wird nach folgender Gleichung vorgegangen:

$$P_{LPT} = P_{PR} + n_P * \frac{dn_P}{dt} * \Theta * 4\pi^2$$

wobei gilt:

P_{LPT} = Turbinenleistung,

P_{PR} = Propellerleistung,

n_P = Propellerdrehzahl,

dn_P/dt = 1. Ableitung der Propellerdrehzahl,

Θ = Massenträgheitsmoment des Propellertriebwerks.

Unter Verwendung der obigen Gleichung können aus den Regelgrößen 12, 13 in der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 auf einfache Weise die Ausgangsgrößen 20, 21 der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung ermittelt werden.

In analoger Weise wird die obige Gleichung auch in der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 verwendet, in der aus den Sollwerten 16, 17 die Ausgangsgrößen 22, 23 errechnet werden.

In die zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 ist zusätzlich noch eine Zeitverzögerungseinrichtung für den Sollwert der Propellerdrehzahl integriert. Die Ausgangsgröße 22 der Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 entspricht damit dem Sollwert für die Propellerdrehzahl n_{Psoll} mit einer Zeitverzögerung von vorzugsweise 200 Millisekunden. Durch diese zeitverzögerte Durchleitung des Sollwerts für die Propellerdrehzahl wird der dynamische Zeitverzögerungseffekt des Propellertriebwerks ausgeglichen.

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Ausgangsgrößen 20, 21 der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 auch als Hilfs-Regelgrößen und die Ausgangsgrößen 22, 23 der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 auch als
5 Hilfs-Sollwerte bezeichnet werden können.

Wie bereits oben erwähnt, werden die Ausgangsgrößen 20, 21 der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 und die Ausgangsgrößen 22, 23 der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 den Vergleichseinrichtungen 24, 25 als Eingangsgrößen
10 zugeführt. Wie Fig. 1 zeigt, werden einer ersten Vergleichseinrichtung 24 die Ausgangsgrößen 20, 22 der Regelgrößen-Umrechnungseinrichtungen 18, 19 zugeführt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel handelt es sich hierbei um die umgerechneten Istwerte und Sollwerte für die Propellerdrehzahl n_P . In der Vergleichseinrichtung 24 wird eine Differenz zwischen diesem Hilfs-Sollwert für die Propellerdrehzahl und dem Hilfs-Istwert für die
15 Propellerdrehzahl gebildet und hieraus eine Regelabweichung 26 für die Propellerdrehzahl errechnet. Die Regelabweichung für die Propellerdrehzahl ist in Fig. 1 mit n_{Perr} bezeichnet.

Analog wird in der zweiten Vergleichseinrichtung 25 eine Differenz zwischen der Ausgangsgröße 23 der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 18 und der
20 Ausgangsgröße 21 der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung 19 errechnet. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird demnach in der zweiten Vergleichseinrichtung 25 eine Differenz zwischen einem errechneten Istwert der als Hilfs-Regelgröße dienenden Turbinenleistung P_{LPT} und einem entsprechend errechneten Sollwert für diese Hilfs-Regelgröße ermittelt. Eine korrespondierende Regelabweichung 27 zwischen dem Istwert
25 und dem Sollwert der als Hilfs-Regelgröße dienenden Turbinenleistung ist in Fig. 1 mit P_{LPTerr} bezeichnet.

Die Regelabweichungen 26, 27 der Hilfsregelgrößen 20, 21 werden gemäß Fig. 1 Reglern 28, 29 zugeführt. Einem ersten Regler 28 wird die Regelabweichung 26 der Hilfs-
30 Regelgröße 20 zugeführt. Bei der dem ersten Regler 28 zugeführten Regelabweichung 26 handelt es sich demnach um die Regeldifferenz zwischen dem Hilfs-Sollwert 22 der Propellerdrehzahl und dem Hilfs-Istwert 20 für die Propellerdrehzahl. Der erste Regler 28 ist demnach als Drehzahlregler ausgebildet. Aus der Regelabweichung 26 ermittelt der

erste Regler 28 eine Ausgangsgröße 30 desselben. Bei der Ausgangsgröße 30 handelt es sich im gezeigten Ausführungsbeispiel um eine Drehmomentanforderung ΔT .

Analog wird einem zweitem Regler 29 die Regelabweichung 27 der Hilfs-Regelgröße 21 zugeführt. Bei der Regelabweichung 27 handelt es sich also um die Differenz zwischen dem Sollwert 23 und dem entsprechenden Istwert 20 der als Hilfs-Regelgröße dienenden Turbinenleistung P_{LPT} . Der zweite Regler 29 ist demzufolge als Leistungsregler ausgebildet. Aus der Regelabweichung 27 ermittelt der zweite Regler 29 eine Ausgangsgröße 31. Bei der Ausgangsgröße 31 des zweiten Reglers 29 handelt es sich im gezeigten Ausführungsbeispiel um eine Leistungsanforderung ΔP .

Die beiden Regler 28, 29 können zum Beispiel als PID-Regler ausgebildet sein. Die Ermittlung geeigneter Reglerparameter obliegt dem angesprochenem Fachmann.

Erfindungsgemäß werden die Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29 nicht unmittelbar als Stellgrößen für die Mehrgrößenregelstrecke 11 verwendet, sondern vielmehr einer Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 zugeführt. Die Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29 dienen demnach der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 als Eingangsgrößen. In der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 werden die Ausgangsgrößen 30, 31 miteinander verrechnet. Die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 ermittelt aus den Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29 und aus Kennwerten der Mehrgrößenregelstrecke 11 die Stellgrößen 14, 15 für die Mehrgrößenregelstrecke 11. Im gezeigten Ausführungsbeispiel bedeutet dies, dass der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 als Eingangsgrößen die Drehmomentanforderung ΔT und die Leistungsanforderung ΔP als Eingangsgrößen zugeführt werden. Aus diesen beiden Eingangsgrößen ermittelt die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 den Propellerblatteinstellwinkel β und den Brennstoffstrom w_F als Stellgrößen für das Propellertriebwerk 11. Hierbei wird vorzugsweise nach folgenden Modellgleichungen vorgegangen:

$$T = \beta^{E1} * n_p^{E2}$$

$$P = w_F^{E3} * n_p^{E4}$$

wobei gilt:

P = Turbinenleistung, Ausgangsgröße des Drehzahlreglers,

T = Drehmoment, Ausgangsgröße des Leistungsreglers,

5 n_p = Propellerdrehzahl,

w_F = Brennstoffstrom, gesuchte Stellgröße

β = Propellerblatteinstellwinkel, gesuchte Stellgröße

E_1, E_2, E_3, E_4 = Exponenten des Modells.

10 Nach einem weiteren Aspekt der hier vorliegenden Erfindung werden in der Stellgrößen-
Umrechnungseinrichtung 32 zur Ermittlung der Stellgrößen 14, 15 nicht nur die
Ausgangsgrößen 30, 31 der beiden Regler 28, 29 miteinander verrechnet, vielmehr wird
zusätzlich in der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 eine Vorsteuerungskomponente
berücksichtigt. Demnach werden Charakteristiken der Mehrgrößenregelstrecke 11, im hier
15 vorliegenden Ausführungsbeispiel handelt es sich um Charakteristiken der Turbine und des
Propellers, in die Stellpfade des Mehrgrößenregelungssystems 10 eingeschleift.

Hierbei werden im gezeigten Ausführungsbeispiel Kennfelder des Propellers und der
Turbine berücksichtigt. Derartige Kennfelder werden aus der mathematischen bzw.
20 systemdynamischen Modellierung der Mehrgrößenregelstrecke 11, im gezeigten
Ausführungsbeispiel des Propellertriebwerks, gewonnen.

Diesen Kennfeldern, die dem hier angesprochenen Fachmann geläufig sind, werden als
Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen 30, 31 der beiden Regler 28, 29 und zusätzlich die
25 als Vorsteuerungskomponenten dienenden, gemessenen korrespondierenden Istwerte
zugeführt. Zu den Ausgangsgrößen 30, 31 der beiden Regler 28, 29 wird die jeweilige
Vorsteuerungskomponente addiert, und diese Summe wird dem entsprechenden Kennfeld
als Eingangsgröße zugeführt. In diesem Zusammenhang gilt:

30 $T = f(\beta, n_p, \dots)$ und $T = \Delta T + T_{\text{Ist}}$

$P = f(w_F, n_p, \dots)$ und $P = \Delta P + P_{\text{Ist}}$

wobei gilt:

$f(\beta, n_P, \dots), f(w_F, n_P, \dots) = \text{Kennfelder},$
 $T_{\text{ist}}, P_{\text{ist}} = \text{Vorsteuerungskomponenten}.$

5 Daraus folgt dann:

$$\beta = f(\Delta T + T_{\text{ist}}, n_P, \dots)$$

$$w_F = f(\Delta P + P_{\text{ist}}, n_P, \dots)$$

10 Dies bedeutet, dass die Kennfelder nicht lediglich mit nominellen bzw. gemessenen Eingängen T_{ist} bzw. P_{ist} beaufschlagt werden, sondern zusätzlich mit dynamisch ermittelten Ausgangsgrößen der beiden Regler 28, 29. Die Ausgangsgrößen 30, 31 der beiden Regler 28, 29 werden durch die Kennfelder der Mehrgrößenregelstrecke 11 durchgeschleift und so einer weiteren Umrechnung unterzogen.

15

Das erfindungsgemäße Mehrgrößenregelungssystem 10 bzw. das erfindungsgemäße Verfahren zum Regeln der Mehrgrößenregelstrecke 11 umfasst demnach die folgenden drei Gesichtspunkte, die vorzugsweise in Kombination miteinander Verwendung finden:

20 Nach einem ersten Aspekt werden die Ausgangsgrößen der Mehrgrößenregelstrecke 11, also die Regelgrößen 12, 13, sowie entsprechende Sollwerte 16, 17 für die Regelgrößen 12, 13 in Regelgrößen-Umrechnungseinrichtungen 18, 19 in Hilfs-Regelgrößen 20, 21 sowie entsprechende Sollwerte 22, 23 für die Hilfs-Regelgrößen umgerechnet. Nach einem zweiten Aspekt der Erfindung werden die aus den Regelabweichungen 26, 27 der Hilfs-

25 Regelgrößen 20, 21 ermittelten Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29 einer Sollwert-Umrechnungseinrichtung 32 zugeführt. In der Sollwert-Umrechnungseinrichtung 32 werden aus den Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29 die Stellgrößen 14, 15 für die Mehrgrößenregelstrecke 11 gebildet. Nach einem dritten Aspekt der Erfindung wird in der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung 32 den Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29

30 mindestens eine Vorsteuerungskomponente überlagert. Diese Vorsteuerungskomponente ist von der Modellierung der Mehrgrößenregelstrecke 11 abhängig. Bei den Vorsteuerungskomponenten handelt es sich um Kennfelder der Mehrgrößenregelstrecke 11, wobei als Eingangsgrößen für diese Kennfelder die dynamisch ermittelten

Ausgangsgrößen 30, 31 der Regler 28, 29 und die gemessenen korrespondierenden Istwerte – sogenannte Vorsteuerungskomponenten – verwendet werden.

Unter Verwendung der Struktur des erfindungsgemäßen Mehrgrößenregelungssystems 10 lassen sich auf einfache Art und Weise Kopplungen zwischen den Stellgrößen 14, 15 und den Regelgrößen 12, 13 der Mehrgrößenregelstrecke 11 sowie Nichtlinearitäten im dynamischen Verhalten der Mehrgrößenregelstrecke 11 eliminieren. Das Mehrgrößenregelungsproblem der Mehrgrößenregelstrecke 11 lässt sich so auf entkoppelte, lineare Regelkreise mit einer Eingangsgröße sowie einer Ausgangsgröße zurückführen. Mit einfachen Regelgesetzen, zum Beispiel PID-Reglern, lässt sich dann eine zufriedenstellende Regelung der Mehrgrößenregelstrecke 11 über den gesamten Betriebsbereich der Mehrgrößenregelstrecke 11 realisieren.

Das erfindungsgemäße Mehrgrößenregelungssystem 10 lässt sich besonders vorteilhaft zur Regelung eines Propellertriebwerks einsetzen. Die bei einem Propellertriebwerk auftretenden starken Nichtlinearitäten im dynamischen Übertragungsverhalten sowie die starken Kopplungen zwischen den Stellgrößen und den Regelgrößen des Propellertriebwerks lassen sich unter Verwendung der Erfindung einfach eliminieren. Die Propellerdrehzahl n_P sowie die Propellerleistung P_{PR} lassen sich mithilfe der erfindungsgemäßen Regelgrößen-Umrechnung sowie Stellgrößen-Umrechnung voneinander entkoppeln und weitgehend linear regeln. Mit einem einfachen Satz an Reglerparametern lässt sich eine optimierte Regelung eines Propellertriebwerks über den gesamten Betriebsbereich des Propellertriebwerks erzielen. Das erfindungsgemäße Mehrgrößenregelungssystem 10 zeichnet sich durch ein robustes Reglerverhalten aus.

Bezugszeichenliste

	Mehrgrößenregelungssystem	10
5	Mehrgrößenregelstrecke	11
	Regelgröße	12
	Regelgröße	13
	Stellgröße	14
	Stellgröße	15
10	Sollwert	16
	Sollwert	17
	Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung	18
	Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung	19
	Ausgangsgröße	20
15	Ausgangsgröße	21
	Ausgangsgröße	22
	Ausgangsgröße	23
	Vergleichseinrichtung	24
	Vergleichseinrichtung	25
20	Regelabweichung	26
	Regelabweichung	27
	Regler	28
	Regler	29
	Ausgangsgröße	30
25	Ausgangsgröße	31
	Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung	32

Patentansprüche

1. Mehrgrößenregelungssystem, mit einer Mehrgrößenregelstrecke (11), wobei die Mehrgrößenregelstrecke mehrere Stellgrößen (14, 15) als Eingangsgrößen und mehrere
5 Regelgrößen (12, 13) als Ausgangsgrößen aufweist, mit mehreren Vergleichseinrichtungen (24, 25) zur Ermittlung von Regelabweichungen (26, 27), und mit mehreren Reglern (28, 29), wobei jedem Regler (28, 29) eine Regelabweichung (26, 27) als Eingangsgröße zuführbar ist, **gekennzeichnet durch** eine Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32), wobei von den Reglern (28, 29) bereitgestellte Ausgangsgrößen (30, 31) der Stellgrößen-
10 Umrechnungseinrichtung (32) als Eingangsgrößen zuführbar sind, und wobei die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) zumindest aus den Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) die Stellgrößen (14, 15) für die Mehrgrößenregelstrecke (11) ermittelt.
2. Mehrgrößenregelungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**
15 die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) zur Ermittlung der Stellgrößen (14, 15) die Ausgangsgrößen (30, 32) der Regler (28, 29) miteinander verrechnet.
3. Mehrgrößenregelungssystem nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verrechnung der Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) von der
20 Mehrgrößenregelstrecke (11) abhängig ist.
4. Mehrgrößenregelungssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) zur Ermittlung der Stellgrößen (14, 15) den Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) eine
25 istwertabhängige Vorsteuerungskomponente überlagert.
5. Mehrgrößenregelungssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, **gekennzeichnet durch** eine erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (19), wobei die Regelgrößen (12, 13) der ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (19) als
30 Eingangsgrößen zuführbar sind, und wobei die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (19) aus den Regelgrößen (12, 13) Ausgangsgrößen (20, 21) ermittelt, die den Vergleichseinrichtungen (24, 25) als erste Eingangsgrößen zuführbar sind.

6. Mehrgrößenregelungssystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet durch** eine zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18), wobei Sollwerte (16, 17) der Regelgrößen (12, 13) der zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18) als Eingangsgrößen zuführbar sind, und wobei die zweite
- 5 Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18) aus den Sollwerten (16, 17) Ausgangsgrößen (22, 23) ermittelt, die den Vergleichseinrichtungen (24, 25) als zweite Eingangsgrößen zuführbar sind.
7. Mehrgrößenregelungssystem nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch**
- 10 **gekennzeichnet, dass** die Vergleichseinrichtungen (24, 25) die ersten Eingangsgrößen derselben mit korrespondierenden zweiten Eingangsgrößen derselben verrechnen, und dass die daraus resultierenden Regelabweichungen (26, 27) den Reglern (28, 29) als Eingangsgrößen zuführbar sind.
- 15 8. Verfahren zum Regeln einer Mehrgrößenregelstrecke, wobei der Mehrgrößenregelstrecke (11) mehrere Stellgrößen (14, 15) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei mehrere Regelgrößen (12, 13) als Ausgangsgrößen der Mehrgrößenregelstrecke (11) zur Ermittlung von Regelabweichungen (26, 27) miteinander verrechnet werden, und wobei jede Regelabweichung (26, 27) einem Regler (28, 29) als
- 20 Eingangsgröße zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** von den Reglern (28, 29) bereitgestellte Ausgangsgrößen (30, 31) einer Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei in der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) zumindest aus den Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) die Stellgrößen (14, 15) für die Mehrgrößenregelstrecke (11) ermittelt werden.
- 25 9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung der Stellgrößen (14, 15) die Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) miteinander verrechnet werden.
- 30 10. Verfahren nach Ansprüchen 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung der Stellgrößen (14, 15) die Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) zusätzlich mit einer istwertabhängigen Vorsteuerungskomponente verrechnet werden.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regelgrößen (12, 13) der Mehrgrößenregelstrecke (11) einer ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (19) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (19) aus den Regelgrößen (12, 13) Ausgangsgrößen (20, 21) ermittelt, die den Vergleichseinrichtungen (24, 25) als erste Eingangsgrößen zugeführt werden.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** Sollwerte (16, 17) der Regelgrößen einer zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei die zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18) aus den Sollwerten (16, 17) Ausgangsgrößen (22, 23) ermittelt, die den Vergleichseinrichtungen (24, 25) als zweite Eingangsgrößen zugeführt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten Eingangsgrößen der Vergleichseinrichtungen (24, 25) und die korrespondierenden zweiten Eingangsgrößen derselben verrechnet werden, und dass die daraus resultierenden Regelabweichungen (26, 27) den Reglern (28, 29) als Eingangsgrößen zugeführt werden.

14. Verfahren zum Regeln eines Propellertriebwerks, wobei als Regelgrößen eine Propellerdrehzahl (12) und eine Propellerleistung (13) geregelt werden, und wobei dem Propellertriebwerk (11) als Stellgrößen ein Propellerblatteinstellwinkel (14) und ein Brennstoffstrom (15) zugeführt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung des Propellerblatteinstellwinkels (14) und des Brennstoffstroms (15) von Reglern (28, 29) bereitgestellte Ausgangsgrößen (30, 31) einer Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) aus den Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) den Propellerblatteinstellwinkel (14) und den Brennstoffstrom (15) als Stellgrößen ermittelt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Propellerdrehzahl (12) und die Propellerleistung (13) als Regelgrößen des Propellertriebwerks (11) einer ersten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (19) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei die erste Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung

(19) als Ausgangsgrößen Istwerte für die Propellerdrehzahl (20) und eine Turbinenleistung (21) bereitstellt.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** Sollwerte für die Propellerdrehzahl (16) und die Propellerleistung (17) einer zweiten Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18) als Eingangsgrößen zugeführt werden, wobei die zweite Regelgrößen-Umrechnungseinrichtung (18) als Ausgangsgrößen Sollwerte für die Propellerdrehzahl (22) und eine Turbinenleistung (23) bereitstellt.

10 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den Istwerten und den korrespondierenden Sollwerten für die Propellerdrehzahl und die Turbinenleistung entsprechende Regelabweichungen (26, 27) ermittelt werden, wobei die Propellerdrehzahl-Regelabweichung (26) einem Drehzahlregler (28) und die Turbinenleistung-Regelabweichung (27) einem Leistungsregler (29) zugeführt werden.

15

18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehzahlregler (28) als Ausgangsgröße eine Drehmomentanforderung (30) und der Leistungsregler (29) als Ausgangsgröße eine Turbinenleistungsanforderung (31) bereitstellt, wobei in der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) aus der
20 Drehmomentanforderung (30) und der Turbinenleistungsanforderung (31) der Propellerblatteinstellwinkel (14) und der Brennstoffstrom (15) ermittelt werden.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) die
25 Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) miteinander verrechnet und zusätzlich mit einer Vorsteuerungskomponente verrechnet werden.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorsteuerungskomponente von Istwerten der Regelgrößen (12, 13) und von der
30 Mehrgrößenregelstrecke (11), nämlich von der Modellierung bzw. von Kennfeldern des zu regelnden Propellertriebwerks, abhängig ist.

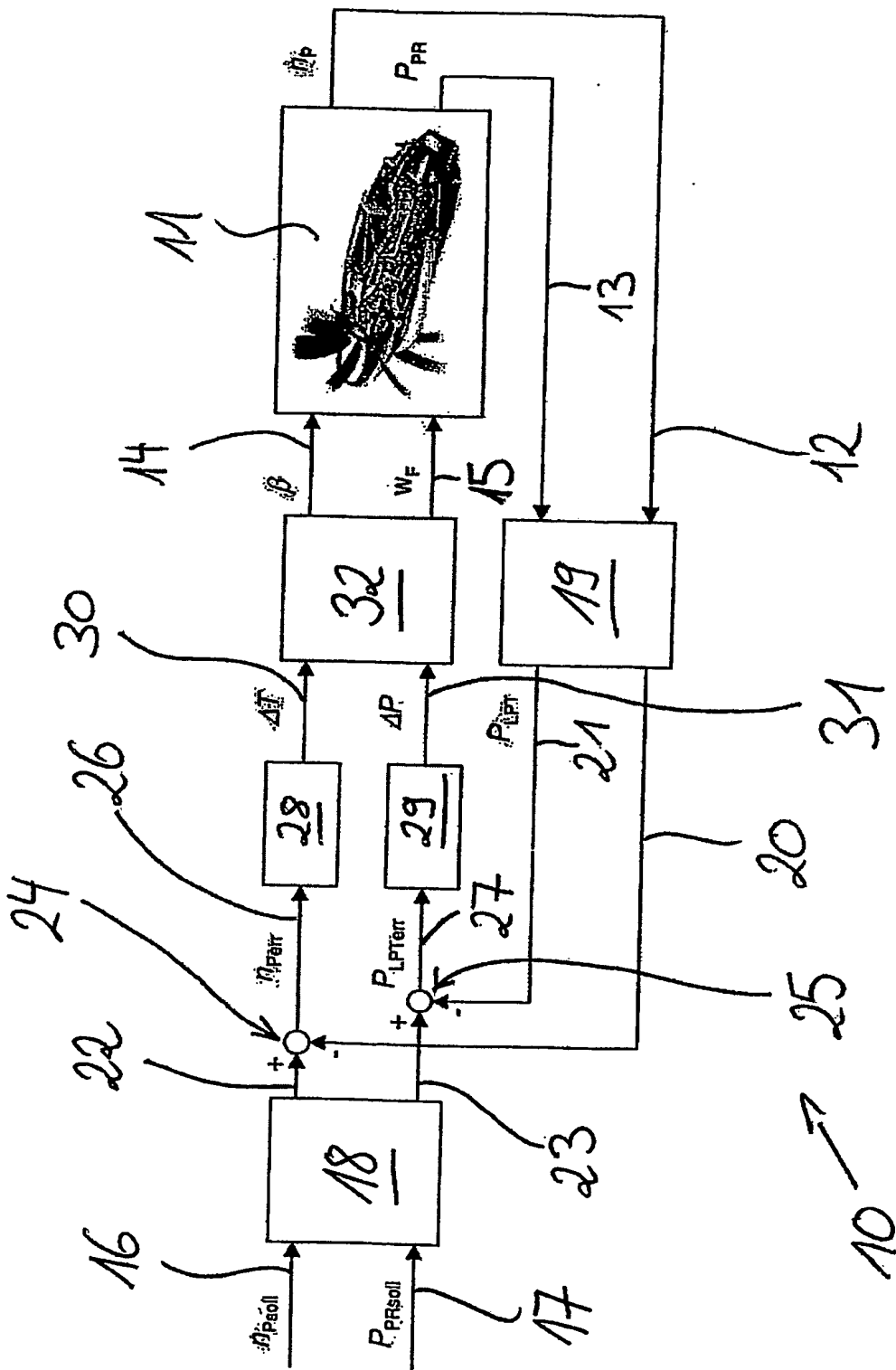


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Mehrgrößenregelungssystem.

5

Das Mehrgrößenregelungssystem (10) umfasst eine Mehrgrößenregelstrecke (11), wobei die Mehrgrößenregelstrecke (11) mehrere Stellgrößen (14, 15) als Eingangsgrößen und mehrere Regelgrößen (12, 13) als Ausgangsgrößen aufweist. Weiterhin sind mehrere Vergleichseinrichtungen (24, 25) zur Ermittlung von Regelabweichungen (26, 27) vorgesehen. Es sind mehrere Regler (28, 29) vorhanden, wobei jedem Regler (28, 29) eine Regelabweichung (26, 27) als Eingangsgröße zuführbar ist.

10

Das erfindungsgemäße Mehrgrößenregelungssystem (10) verfügt über eine Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32), wobei von den Reglern (28, 29) bereitgestellte

15

Ausgangsgrößen (30, 31) der Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) als Eingangsgrößen zuführbar sind, und wobei die Stellgrößen-Umrechnungseinrichtung (32) aus den Ausgangsgrößen (30, 31) der Regler (28, 29) die Stellgrößen (14, 15) für die Mehrgrößenregelstrecke (11) ermittelt.

20 (Fig. 1)

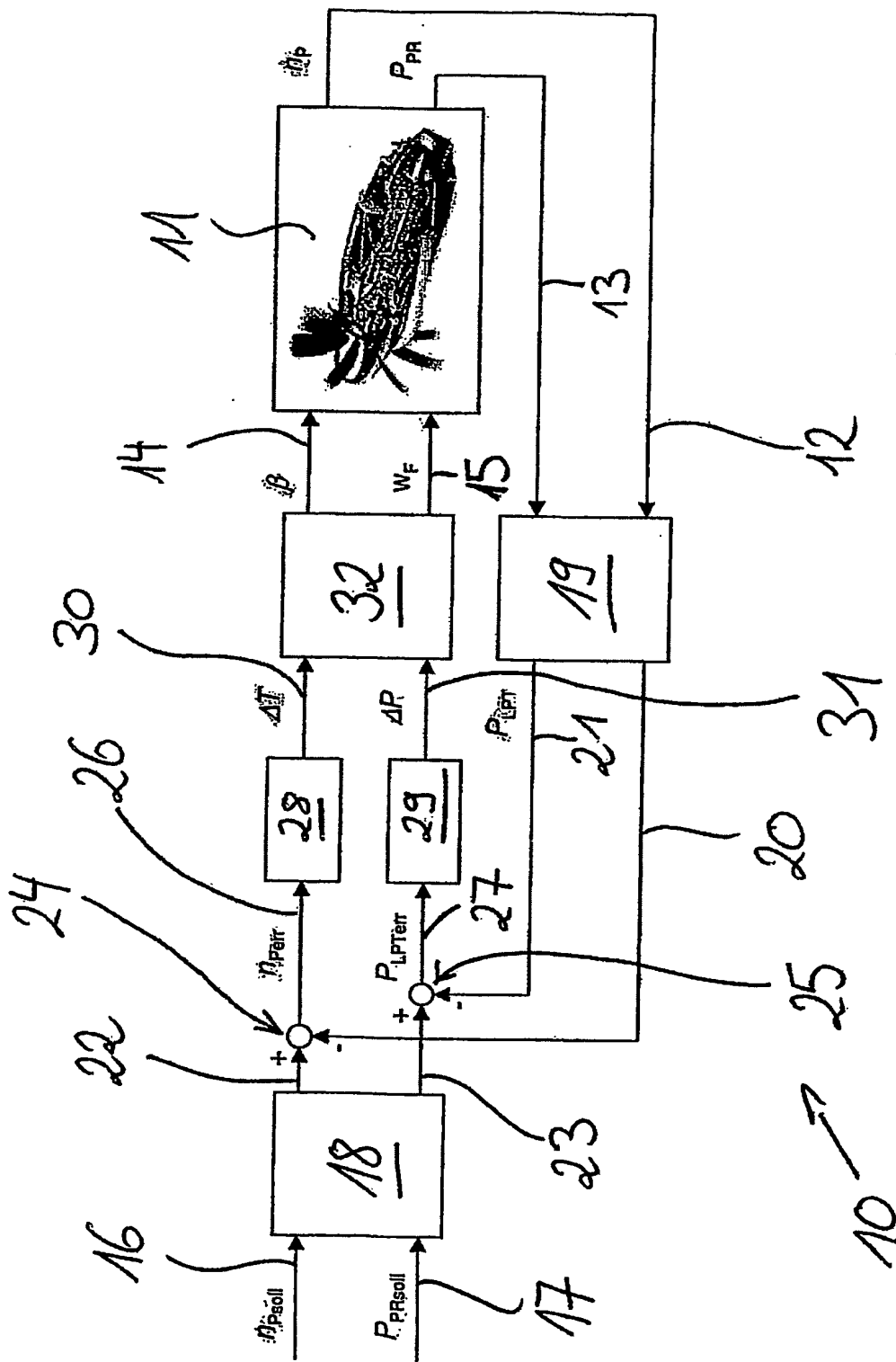


Fig. 1